



**Universidad  
Zaragoza**

## Proyecto Fin de Carrera

# **DISEÑO INTEGRAL DE UNA INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA CON APORTE SOLAR TÉRMICO PARA UN BLOQUE DE 50 VIVIENDAS**

Autor

**Ignacio Ezquerro Villarroya**

Director

**Ignacio Zabalza Bribián**

Especialidad

**Energía y Tecnología de Calor y Fluidos**

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza

2011- 2012

## **INDICE DE LA MEMORIA**

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Objeto del proyecto .....</b>	<b>1</b>
<b>3. Reglamentación y disposiciones oficiales .....</b>	<b>1</b>
<b>4. Emplazamiento del proyecto .....</b>	<b>2</b>
<b>5. Descripción técnica de la instalación .....</b>	<b>3</b>
5.1. Sistema solar térmico .....	4
5.1.1. Captador solar .....	4
5.1.2. Estructura soporte .....	6
5.1.3. Acumulador solar .....	7
5.1.4. Intercambiador de calor .....	9
5.2. Sistema auxiliar .....	9
5.2.1. Acumulador auxiliar .....	9
5.2.2. Intercambiador de calor .....	10
5.2.3. Caldera .....	10
5.3. Sistema hidráulico .....	11
5.3.1. Fluido caloportador .....	11
5.3.2. Depósito del fluido caloportador .....	12
5.3.3. Bombas .....	12
5.3.3.1. Bomba del circuito primario .....	13
5.3.3.2. Bomba de llenado del circuito primario .....	13
5.3.3.3. Bombas del circuito secundario y del circuito auxiliar .....	14
5.3.3.4. Bomba de distribución de ACS .....	14
5.3.3.5. Bomba de recirculación de ACS .....	15
5.3.4. Vaso de expansión .....	16
5.3.5. Tuberías .....	16
5.3.6. Aislamiento .....	17
5.3.7. Valvulería y accesorios .....	18
5.4. Sistema de regulación y control .....	20
5.5. Sistema eléctrico .....	21

**DISEÑO INTEGRAL DE UNA INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA CON APOORTE SOLAR  
TÉRMICO PARA UN BLOQUE DE 50 VIVIENDAS**

MEMORIA

Ignacio Ezquerro Villarroya

---

<b>6. Presupuesto de la instalación .....</b>	<b>22</b>
<b>7. Estudio de viabilidad económica .....</b>	<b>22</b>
7.1. Análisis de sensibilidad .....	24
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>24</b>

**ANEXOS**

ANEXO I. CÁLCULOS .....	30
ANEXO II. PLANOS .....	61
ANEXO III. PRESUPUESTO .....	63
ANEXO IV. ESTUDIO DE VIABILIDAD .....	74
ANEXO V. FICHAS TÉCNICAS .....	82

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1.	Distribución de los pisos del bloque de viviendas .....	3
Tabla 2.	Características técnicas del colector solar ESCOSOL 2300 selectivo TITAN .....	4
Tabla 3.	Características técnicas de los acumuladores solares .....	8
Tabla 4.	Características técnicas del intercambiador de placas del circuito solar .....	9
Tabla 5.	Características técnicas del acumulador auxiliar .....	9
Tabla 6.	Características técnicas del intercambiador de placas del circuito auxiliar .....	10
Tabla 7.	Características técnicas de la caldera .....	11
Tabla 8.	Características técnicas del fluido caloportador .....	11
Tabla 9.	Características técnicas del depósito del fluido caloportador .....	11
Tabla 10.	Características técnicas de la bomba del circuito primario .....	13
Tabla 11.	Características técnicas de la bomba de llenado del circuito primario .....	14
Tabla 12.	Características técnicas de las bombas de los circuitos secundario y auxiliar ...	14
Tabla 13.	Características técnicas de la bomba de distribución de ACS .....	15
Tabla 14.	Características técnicas de la bomba de retorno de ACS .....	15
Tabla 15.	Volumen de los vasos de expansión .....	16
Tabla 16.	Características técnicas del aislamiento .....	17
Tabla 17.	Espesor del aislamiento de las tuberías .....	17
Tabla 18.	Datos generales de la ubicación de la instalación .....	32
Tabla 19.	Distribución de los pisos del bloque de viviendas .....	32
Tabla 20.	Demanda energética mensual .....	33
Tabla 21.	Energía incidente por metro cuadrado de colectores .....	34
Tabla 22.	Parámetros $D_1$ y $D_2$ .....	36
Tabla 23.	Producción energética mensual .....	36
Tabla 24.	Energía e Intensidad incidente por metro cuadrado de captador .....	39
Tabla 25.	Rendimiento mensual de los captadores solares .....	40
Tabla 26.	Aportación energética de la instalación .....	41
Tabla 27.	Precio del kWh en función del modelo de captador .....	41
Tabla 28.	Coeficiente de expansión del agua y de la mezcla de propilenglicol .....	44
Tabla 29.	Volumen del vaso de expansión del circuito primario .....	45

**DISEÑO INTEGRAL DE UNA INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA CON APOORTE SOLAR  
TÉRMICO PARA UN BLOQUE DE 50 VIVIENDAS**

**MEMORIA**

Ignacio Ezquerro Villarroya

---

Tabla 30. Volumen del vaso de expansión del circuito auxiliar .....	45
Tabla 31. Consumo de ACS de los aparatos de una vivienda .....	47
Tabla 32. Caudal punta en cada tramo de distribución de ACS .....	47
Tabla 33. Pérdidas térmicas del circuito de distribución de ACS .....	49
Tabla 34. Pérdidas de carga lineales del circuito solar .....	51
Tabla 35. Pérdidas de carga singulares debidas a los elementos del circuito solar .....	52
Tabla 36. Pérdidas de carga lineales en los circuitos de los acumuladores solares, del acumulador auxiliar y de la caldera .....	52
Tabla 37. Pérdidas de carga singulares debidas a los elementos de los circuitos de los acumuladores solares, del acumulador auxiliar y de la caldera .....	52
Tabla 38. Pérdidas de carga totales en los circuitos de los acumuladores solares, del acumulador auxiliar y de la caldera .....	52
Tabla 39. Pérdidas de carga lineales en el circuito de distribución de ACS .....	53
Tabla 40. Pérdidas de carga singulares debidas a los elementos del circuito de distribución de ACS .....	53
Tabla 41. Pérdidas de carga lineales en el circuito de recirculación de ACS .....	54
Tabla 42. Pérdidas de carga singulares debidas a los elementos del circuito de recirculación de ACS .....	54
Tabla 43. Espesor mínimo del aislamiento de las tuberías .....	55
Tabla 44. Sección de cable eléctrico según el criterio de caída de tensión máxima .....	59
Tabla 45. Sección de cable eléctrico según el criterio de máxima intensidad de corriente .....	59

**DISEÑO INTEGRAL DE UNA INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA CON APOORTE SOLAR  
TÉRMICO PARA UN BLOQUE DE 50 VIVIENDAS**

MEMORIA

Ignacio Ezquerro Villarroya

---

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1.	Emplazamiento del bloque de viviendas .....	3
Figura 2.	Distancia mínima entre filas de colectores .....	5
Figura 3.	Soporte universal ESCOSOL .....	6
Figura 4.	Sección de la estructura porticada .....	6
Figura 5.	Conexión de los acumuladores solares en serie invertida .....	7
Figura 6.	Esquema del circuito configurado para prevención de legionelosis .....	8
Figura 7.	Relación demanda energética y aporte energético .....	37
Figura 8.	Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación .....	38

## **1. INTRODUCCIÓN**

Vivimos en una época de concienciación de la necesidad de cambiar la manera de producir energía, es decir, de combustión fósil (carbón, petróleo o gas natural) a energías producidas por efectos naturales (viento, sol, movimiento del agua...).

El gran aumento de necesidad de energía, unido al incesante incremento de la población con posibilidad de usarla, ha desembocado en un aumento excesivo de la contaminación de nuestro planeta. Como es conocido, este hecho ha provocado y seguirá provocando cambios negativos en él, como por ejemplo, la destrucción de la capa de ozono, cambios climáticos o el empeoramiento de la tierra debido a la lluvia ácida.

Por otra parte, existe una escasez de los combustibles fósiles cuya estimación ronda alrededor de los 50 años de reservas.

Por lo tanto, en los últimos tiempos, se está desarrollando una importante búsqueda y optimización de nuevas energías. Es necesario un cambio en los procesos convencionales de producción de energía hacia otros que utilicen recursos limpios, ilimitados y gratuitos.

Dentro de estas energías renovables se encuentra la energía solar térmica, que aprovecha la radiación incidente de los rayos del sol y la convierte en energía térmica, pudiendo utilizarla, por ejemplo, en instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS).

En el Documento Básico HE del Código Técnico de Edificación (CTE) se establecen reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía. De forma específica, la exigencia básica HE4 determina que debe existir una contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, que dependerá de la zona geográfica del emplazamiento de la instalación.

## **2. OBJETO DEL PROYECTO**

El objeto de este proyecto es la realización del diseño integral de una instalación de agua caliente sanitaria con aporte solar térmico y un sistema de apoyo centralizado de caldera de gas, para abastecer la demanda de un bloque de 50 viviendas, demostrando que cumple todos los requisitos exigidos por la normativa vigente.

## **3. REGLAMENTACIÓN Y DISPOSICIONES OFICIALES**

Para la realización del presente proyecto, se han tenido en cuenta los documentos que se exponen a continuación y que corresponden a la normativa que debe ser considerada en la proyección de una instalación solar térmica.

- **REAL DECRETO 314/2006**, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Ordenanza Municipal de Ecoeficiencia Energética y Utilización de Energías Renovables en los Edificios y sus Instalaciones (aprobado el 24 de Julio de 2009).
- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Energía Solar Térmica a Baja Temperatura (I.D.A.E. 15-04-98 / Ref.: PET-REV enero 2009).
- **REAL DECRETO 1027/2007**, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).
- **REAL DECRETO 865/2003**, por el que se establecen los criterios higiénico – sanitarios para la prevención y control de legionelosis.
- **REAL DECRETO 275/1995**, de 24 de febrero, por el que se dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas 92/42/CEE, relativa los requisitos de rendimiento para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos, modificada por la Directiva 93/68/CEE del Consejo.
- **ORDEN ITC/71/2007**, de 22 de enero, por la que se modifica el anexo de la Orden de 28 de julio de 1980, por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.
- **REAL DECRETO 47/2007**, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.
- **REAL DECRETO 769/1999**, de 7 de Mayo de 1999, dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 97/23/CE, relativa a los equipos de presión y modifica el REAL DECRETO 1244/1979, de 4 de Abril de 1979, que aprobó el Reglamento de aparatos a presión. BOE nº 129 31/05/1999.
- **REAL DECRETO 842/2002**, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC).

#### **4. EMPLAZAMIENTO DEL PROYECTO**

El bloque de viviendas en el que se va a instalar el sistema solar térmico es un edificio de nueva construcción que se encuentra dentro de una urbanización rectangular del barrio de Arcosur en la ciudad de Zaragoza (Latitud 41º39'22" N y Longitud 0º52'35" O). En el plano 1 del Anexo II se muestra la ubicación exacta del bloque de viviendas. Dicho bloque queda representado en color rojo en la figura 1.

Está constituido por cuatro portales independientes que difieren unos de otros en el número de plantas y de viviendas que poseen. Para una mayor comprensión de la distribución del edificio, se ha representado en tabla 1 una relación entre los portales y sus características.



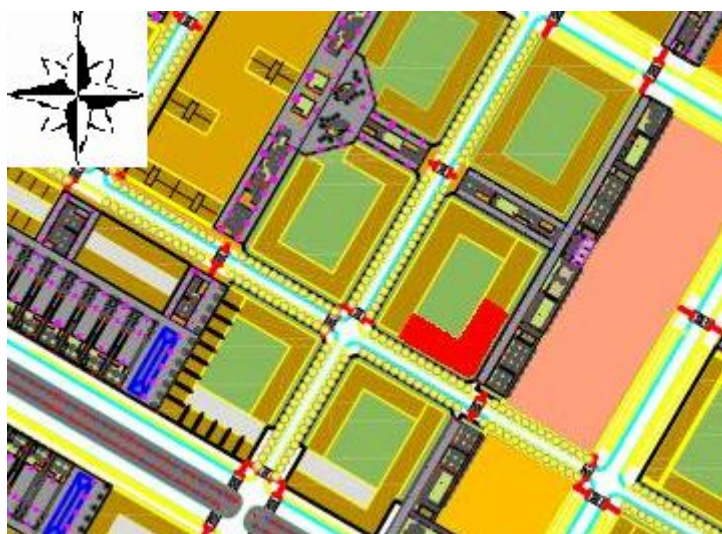


Figura 1. Emplazamiento del bloque de viviendas

Tabla 1. Distribución de los pisos del bloque de viviendas

	Vivienda en Planta baja	5 plantas	7 plantas
Portal 3	O	O	
Portal 4		O	
Portal 5			O
Portal 6	O		O

En cada planta hay dos viviendas de una superficie útil de 90 m<sup>2</sup> y tres habitaciones, lo que da lugar a un total de 50 viviendas en todo el edificio.

Con esta información y otros parámetros dependientes de la ubicación de la instalación, se ha calculado la demanda energética mensual del bloque de viviendas. A partir de este dato, y habiendo elegido previamente un modelo concreto de colector solar, se ha utilizado el método f-chart para realizar el cálculo del porcentaje de calor que la instalación solar térmica aporta al edificio con respecto a la totalidad de su demanda energética. Asimismo, dicho método ha sido empleado para hallar su rendimiento medio en un período de un año. En el apartado 1 del anexo I se presentan todos los cálculos requeridos para ello.

## **5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA INSTALACIÓN**

La instalación para la producción de agua caliente sanitaria que se ha integrado en este bloque de viviendas está constituido por los siguientes sistemas: un sistema solar térmico, cuya función es el precalentamiento del agua de red mediante un fluido caloportador; un sistema auxiliar centralizado que, en caso de ser necesario, se utiliza con el fin de aumentar la temperatura del agua hasta una temperatura de consigna; un sistema hidráulico, formado por las bombas, válvulas y tuberías del conjunto; y un sistema de regulación y control, que comanda el funcionamiento de todos los elementos.

Dado que la cubierta del edificio es habitable y está destinada en su totalidad a terrazas para los áticos del bloque, se ha diseñado una estructura porticada sobre la que se colocan los colectores solares. De esta forma, se separan dichos colectores de los propietarios, dejándolos accesibles únicamente para el personal de mantenimiento.

El resto de los elementos de la instalación, como los acumuladores y depósitos, los intercambiadores, las bombas o la caldera, se encuentran en el cuarto de calderas localizado en el sub-sótano del bloque de viviendas, cuya distribución se puede consultar en el plano 4.

A lo largo del presente capítulo se describe en detalle cada uno de los elementos de la instalación, exponiendo su función en el sistema y sus características técnicas.

## **5.1. SISTEMA SOLAR TÉRMICO**

### **5.1.1. Captador solar**

Existen cuatro tipos comerciales de colectores solares: colectores planos, colectores de vacío, colectores sin cubierta y colectores de aire. Éstos se diferencian fundamentalmente en el rango de temperaturas en el que trabajan. Así, para producción de ACS, se pueden utilizar tanto los colectores planos como los de vacío. Los colectores de vacío ofrecen un mayor rendimiento por m<sup>2</sup> y pueden alcanzar temperaturas de hasta 130°C. Dado que sus pérdidas de calor son mucho menores, son más apropiados para climas muy fríos. Sin embargo, en un país como España, donde la temperatura media es suave, es suficiente utilizar colectores planos, que son más económicos y cumplen con los objetivos deseados sin problemas. Además, la marcada diferencia de radiación y temperatura entre el invierno y el verano de esta zona, podría producir problemas de sobrecalentamiento en los colectores de vacío. Por tanto, se han escogido los colectores planos para esta instalación.

La elección entre los modelos de distintos fabricantes de captadores solares planos se ha realizado en base a su eficiencia, mediante la comparación del coste del kWh generado por un m<sup>2</sup> de cada uno de los modelos, tal y como se refleja en el apartado 3 del Anexo I. El captador solar escogido ha sido el modelo ESCOSOL 2300 Selectivo TITAN del fabricante Salvador Escoda, cuyas características se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Características técnicas del colector solar ESCOSOL 2300 selectivo TITAN

Área de apertura	2,16 m <sup>2</sup>
Caudal mínimo	75 l/h
Presión máxima	10 bar
Temperatura máxima	200 °C
Volumen	2,5 l
Rendimiento óptico	0,775
Pérdidas lineales	3,67 W/m <sup>2</sup> ·K

El rendimiento de un colector solar se define como el cociente entre la energía útil obtenida y la energía solar incidente, siendo dependiente de la diferencia entre la temperatura del fluido

caloportador y la temperatura ambiente. Cuanto más baja es la temperatura del fluido caloportador, mayor es el rendimiento energético del colector. Por ello, y dado que la temperatura media del fluido caloportador es menor cuando la conexión está en paralelo que cuando está en serie, la opción más apropiada para instalaciones de producción de ACS donde no se necesita alcanzar altas temperaturas, como es nuestro caso, es la conexión en paralelo.

Todos los colectores han sido orientados hacia el sur, con el fin de optimizar la captación de radiación solar. En cuanto al diseño de su colocación, se han encontrado algunas dificultades, comenzando en primer lugar por la forma en “L” que tiene el edificio y que da lugar a dos fachadas con distinta orientación. En segundo lugar, se ha tenido que buscar una correcta distribución de las bancadas para evitar la generación de sombras de las chimeneas y de los conductos de ventilación sobre los colectores. Por último, teniendo en cuenta que una parte del edificio tiene 5 plantas y la otra parte tiene 7 plantas, se ha encontrado la manera de colocar los captadores de la azotea más baja sin que la parte más alta del edificio produjese sombras sobre ellos. El plano 6 muestra la distribución de los colectores solares escogida.

Con el objetivo de evitar sombras entre los propios colectores, se ha establecido una distancia mínima entre las filas de colectores de tal forma que, al mediodía solar del día más desfavorable del año, la sombra de la arista superior de una fila, se proyecte como máximo sobre la arista inferior de la fila siguiente, tal y como se muestra en la figura 2.

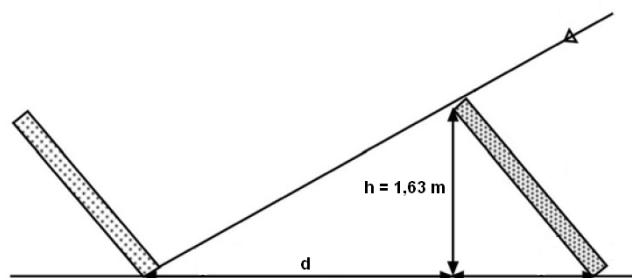


Figura 2. Distancia mínima entre filas de colectores

Utilizando la expresión 1, proporcionada por la Guía Solar Térmica de la Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT) [9], donde el parámetro  $k$  es un coeficiente adimensional dependiente de la latitud (si  $L = 41^\circ$ ,  $k = 2,05$ ), se obtiene que la distancia entre filas ha de ser de 3,34 metros.

$$d = k \cdot h \quad (1)$$

Dado que se ha diseñado una distribución de los colectores bastante compleja, el conexionado para que el circuito resulte equilibrado hidráulicamente no se puede realizar con retorno invertido, por lo que se han instalado válvulas de equilibrado en cada bancada para evitar problemas con el caudal y diferencias en las caídas de presión.

### 5.1.2. Estructura soporte

La instalación está compuesta por baterías de distinto número de captadores que van montados sobre soportes universales de la marca ESCOSOL. Éstos son de aluminio y se caracterizan por su simplicidad y su bajo coste. Son kits individuales que se van acoplando dependiendo del número de colectores que se quieran unir (un kit corresponde a la sección de color rojo de la figura 3). Así, el primer colector necesitará dos kits y, por cada colector adicional que se añada, hay que utilizar un kit más. Esta configuración, con su gran modularidad, lo hace muy competitivo frente a otros soportes estudiados.

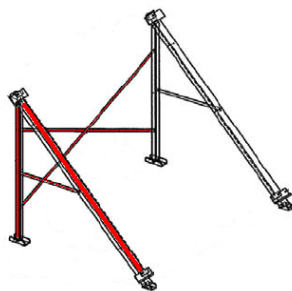


Figura 3. Soporte universal ESCOSOL

Este soporte cumple las normas UNE-ENV 1991-2-3 [1] y UNE-ENV 1991-2-4 [2], que hacen referencia a acciones en estructuras como cargas de nieve y viento.

Los soportes de los colectores se fijan a unos perfiles metálicos anclados en una estructura porticada de hormigón armado, de 2,3 metros de alto, con correas metálicas de perfil en frío a modo de pérgola. Los cálculos que demuestran que es resistente a la fuerza externa del viento y al peso de los captadores solares, se muestran en el apartado x del anexo I. Esta estructura ya estaba incluida en el proyecto del edificio y, para su diseño, se tuvieron en cuenta las restricciones impuestas por el Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza del 2007 [3], que indica que no puede existir ningún elemento constructivo en la azotea cuyo punto más alto sobrepase un ángulo de 45º desde la unión entre la fachada y el suelo de la azotea, como se representa en la figura 4.

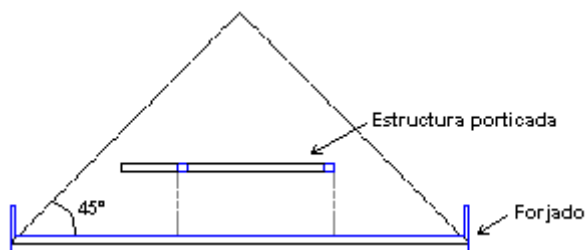


Figura 4. Sección de la estructura porticada

### 5.1.3. Acumulador solar

Según los cálculos realizados y mostrados en el apartado 4 del anexo I, la instalación requiere un volumen de acumulación de 5000 litros. En el mercado existen depósitos de hasta 6000 litros, pero en este caso se ha decidido colocar dos depósitos de 2500 litros, conectados en serie invertida. La figura 5 muestra un esquema básico de esta disposición.

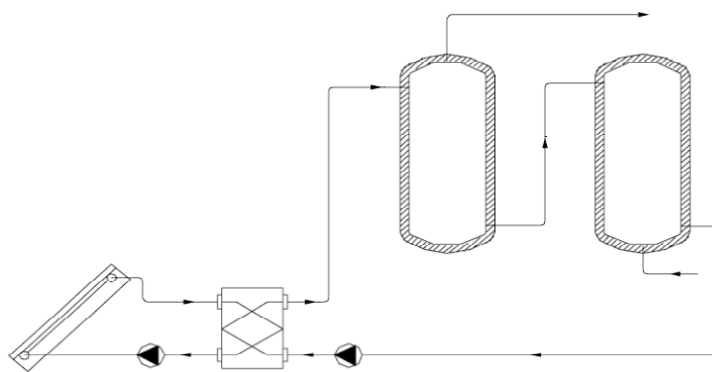


Figura 5. Conexionado de los acumuladores solares en serie invertida

La decisión de poner dos acumuladores en vez de un único acumulador de mayor capacidad se ha tomado por las siguientes razones:

- *Altura del acumulador limitada.* Cuanto mayor es la capacidad de un depósito, mayores son sus dimensiones. Dado que el cuarto de calderas en el sub-sótano tiene una altura de 2,7 metros, se debe tener muy en cuenta el tamaño de los depósitos. Tras analizar varios modelos de diferentes fabricantes, se observó que la instalación de un acumulador de 5000 litros era inviable debido a su gran tamaño.
- *Facilidad en el mantenimiento.* A la hora de realizar las tareas de mantenimiento, en el caso de disponer de dos acumuladores, se puede desconectar uno de ellos, dejando el otro completamente operativo y, de esta forma, utilizar la instalación de forma ininterrumpida.

Para la elección de un acumulador hay que tener en cuenta varios aspectos. En primer lugar, y dado que su función es mantener la temperatura del agua precalentada por el circuito solar, evitando pérdidas de calor, éste debe tener un coeficiente de conductividad térmica menor de  $0,040 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . En segundo lugar, interesa que la relación altura/diámetro del acumulador sea la mayor posible, ya que eso favorece la estratificación. Es decir, el agua caliente extraída del depósito para su consumo es reemplazada por el agua fría de red, acumulándose agua a diferentes temperaturas, lo que genera una zona de agua templada en la parte intermedia que conviene reducir. Cuanto mayor es la relación altura/diámetro, menor es esa zona intermedia y mayor es la estratificación del agua en el interior del acumulador.

En la tabla 3 se detallan las características técnicas de los acumuladores solares elegidos.

Tabla 3. Características técnicas de los acumuladores solares

Fabricante	SUICALSA
Modelo	DAB / ACUMULADOR POLYWARM
Volumen	2500 l
Presión de diseño	8 bar
Temperatura de diseño	90 °C
Aislamiento (50 mm)	0,038 W/m <sup>2</sup> ·K
Relación H/D	2417/1250

Siguiendo las exigencias del CTE, se ha realizado la instalación de tal forma que se pueda conectar el sistema auxiliar a los acumuladores solares en tareas de mantenimiento, como prevención y control de la aparición de la legionella. Para ello, tal y como refleja la línea de color rojo de la figura 6, desde la salida del intercambiador del sistema auxiliar, se ha derivado una vía directamente a la salida de los acumuladores solares. Para realizar esta tarea de mantenimiento habría que abrir y cerrar algunas válvulas de corte manualmente. El objetivo es que se alcance una temperatura de 60°C-70°C durante un tiempo predeterminado en los acumuladores solares evitando cualquier posibilidad de aparición o proliferación de legionella.

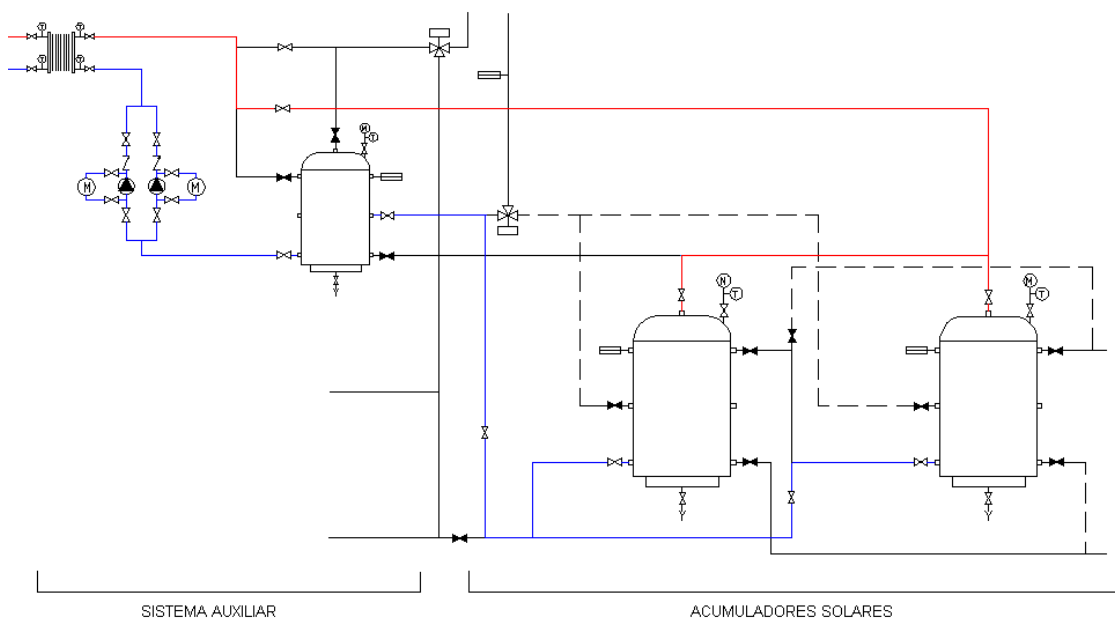


Figura 6. Esquema del circuito configurado para prevención de legionelosis

Por otra parte, el sistema también tiene incorporadas las conexiones necesarias para que se pueda realizar una desconexión temporal de alguno de los dos acumuladores solares con el fin de llevar a cabo las tareas de mantenimiento periódicas sin que esto afecte ni interrumpa el funcionamiento de la instalación.

Las conexiones de las tuberías que llegan a los acumuladores se han realizado según indica el Documento Básico HE4 del CTE, de tal forma que no se pierda la estratificación por la introducción de distintos flujos de agua a diferentes temperaturas. Para ello, se han conectado

las tuberías que transportan fluido a baja temperatura en la parte inferior de los acumuladores y las que transportan fluido a más alta temperatura en la parte superior de los mismos.

#### **5.1.4. Intercambiador de calor**

El intercambio térmico se puede realizar dentro de los acumuladores, llamados entonces interacumuladores, o fuera de los mismos, utilizando intercambiadores externos de placas. Se ha decidido utilizar los segundos ya que disponen de una configuración ondulada de las placas a través de las cuales circulan los fluidos, lo que provoca una elevada turbulencia que asegura una máxima transferencia de calor. Además, por su forma constructiva, son sencillamente ampliables y permiten acceder a las placas fácilmente para su limpieza o sustitución.

La potencia mínima necesaria para transferir el calor de un fluido a otro ha sido calculado a partir del área total de captación, obteniendo un valor de 33480 W, tal y como se justifica en el apartado 5 del anexo I.

Dado que no se puede predecir la temperatura que puede alcanzar el fluido caloportador, se ha elegido un modelo de intercambiador cuyas juntas soportan condiciones muy extremas. Sus características son las presentadas en la tabla 4.

Tabla 4. Características técnicas del intercambiador de placas del circuito solar

Fabricante	SUICALSA
Modelo	IP 3600
Potencia	38 kW
Material de las juntas	EPDM
Presión de diseño	8 bar
Temperatura de diseño	140°C
Número de placas	29

## **5.2. SISTEMA AUXILIAR**

### **5.2.1. Acumulador auxiliar**

Según las consideraciones tomadas en el apartado 9 del anexo I, se ha escogido un depósito de 1000 litros para la acumulación de agua caliente lista para el consumo. Ha sido utilizado el mismo modelo que el de los acumuladores solares, aunque con diferentes dimensiones. Sus características se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Características técnicas del acumulador auxiliar

Fabricante	SUICALSA
Modelo	DAB / ACUMULADOR POLYWARM
Volumen	1000 l
Presión de diseño	8 bar
Temperatura de diseño	90 °C
Aislamiento (50 mm)	0,038 W/m <sup>2</sup> ·K
Relación H/D	2192/850

### **5.2.2. Intercambiador de calor**

Al igual que en el sistema solar térmico, se ha colocado un intercambiador externo de placas. En este caso, la potencia necesaria se ha determinado teniendo en cuenta que el intercambiador debe ser capaz de satisfacer las necesidades del momento punta más desfavorable del año. El apartado 9 del anexo I recoge los cálculos realizados.

A diferencia del intercambiador del circuito solar, en este caso se ha seleccionado un intercambiador más económico con un material de juntas que no soporta temperaturas tan altas, ya que el estado térmico del fluido está regulado por la caldera. Las características de este intercambiador se detallan en la tabla 6.

Tabla 6. Características técnicas del intercambiador de placas del circuito auxiliar

Fabricante	SUICALSA
Modelo	IP 3600
Potencia	106 kW
Material de las juntas	Nitrilo NBR
Presión de diseño	8 bar
Temperatura de diseño	95°C
Número de placas	17

### **5.2.3. Caldera**

La caldera se pondrá en marcha únicamente cuando no se alcance la temperatura de consigna en el acumulador auxiliar, porque es un elemento de producción energética auxiliar. Se ha decidido instalar una caldera de condensación con gas natural como combustible, ya que sus ventajas hacen que la utilización de este tipo de calderas sea más adecuada que las calderas convencionales. Sus principales ventajas son las siguientes:

- Son calderas de alto rendimiento, pues se aprovecha en gran parte el calor latente del vapor que contienen los humos de combustión.
- Se alcanza un ahorro de hasta el 30% en el consumo de energía.
- Se reducen hasta en un 70% las emisiones de óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Sin embargo, las calderas de condensación suponen una mayor inversión inicial debido a su elevado coste. En la tabla 7 se ha realizado una comparación de los dos tipos de calderas, utilizando unos valores de rendimiento estimativos. Se observa que el uso de una caldera de condensación puede suponer un ahorro económico anual de alrededor de un 15% con respecto a una convencional.



Tabla 7. Comparativa entre caldera de condensación y caldera convencional

	<b>Demanda energética [kWh]</b>	<b>Rend [%]</b>	<b>Energía consumida [kWh]</b>	<b>Precio GN con IVA [€/kWh]</b>	<b>Coste [€]</b>
Caldera de condensación	37380,43	109%	34293,98	0,057584	1974,79
Caldera convencional	37380,43	93%	40194,02	0,057584	2314,54

<b>Ahorro [€]</b>	339,75
<b>Ahorro [%]</b>	14,68%

La caldera de condensación elegida es de la marca TRADESA, y se ha seleccionado el modelo según la potencia obtenida en el apartado 11.1 del Anexo I. Sus características más relevantes se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Características técnicas de la caldera

Fabricante	TRADESA
Modelo	Power Condens
Potencia térmica	115 kW
Tª max de fluido	90°C
Presión máxima	6 bar
Volumen	15,3 l

### 5.3. SISTEMA HIDRÁULICO

#### 5.3.1. Fluido caloportador

El fluido caloportador puede ser simplemente agua o tener una mezcla de agua con algún aditivo anticongelante que evite la congelación si la temperatura desciende por debajo de 0°C. En Zaragoza, según la Agencia Estatal de Meteorología [4], la temperatura mínima histórica es de -11,4 °C, por lo que es necesario añadir anticongelante para que la instalación no falle en ningún momento y trabaje de forma correcta durante todo el año. Según el Documento Básico HE4 del CTE, hay que elegir un porcentaje de anticongelante que soporte 5°C menos que el mínimo histórico de la ciudad. Con estas consideraciones, se ha elegido un fluido caloportador comercial que contiene un 40% de propilenglicol del fabricante BIODETEX, cuyas características principales se recogen en la tabla 9.

Tabla 9. Características técnicas del fluido caloportador

Aditivo	Propilenglicol calidad USP
Concentración	40%
Punto de congelación	-24°C
pH	7 – 8
Capacidad calorífica	0,872 Kcal/(Kg·°C)
Coefficiente de dilatación	$5,5 \cdot 10^{-4}$ l/°C

Para llevar a cabo el vaciado del circuito solar en tareas de mantenimiento o reparación, basta con abrir la válvula de corte que se encuentra en la parte superior del depósito y el fluido caloportador descenderá por gravedad.

### **5.3.2. Depósito del fluido caloportador**

Este depósito, que se utiliza para almacenar todo el volumen del fluido caloportador que circula por la instalación, es esencial en tareas de mantenimiento o reparación de la instalación para no desperdiciar todo o parte del fluido por el alcantarillado. A él están conectadas las válvulas de seguridad del circuito, permitiendo también la recuperación del fluido en los momentos en que se produzca una sobrepresión y se abran dichas válvulas.

El volumen del depósito se ha escogido en base al volumen total de fluido caloportador que circula por el circuito primario. Como se muestra en los cálculos realizados en el apartado 6 del anexo I, se ha obtenido un valor de 302,2 litros, por lo que se ha decidido colocar un depósito comercial de 400 litros.

Dos posibles lugares donde colocar el depósito de fluido caloportador eran la azotea, junto a los colectores, o el cuarto de calderas, junto al resto de la instalación. Finalmente, se ha instalado en el cuarto de calderas por los siguientes motivos:

- Las condiciones ambientales son más favorables en el cuarto de calderas dentro del edificio que a la intemperie. Los elementos como la bomba de llenado o el propio depósito estarían expuestos a condiciones más perjudiciales que podrían provocar un desgaste prematuro.
- En el circuito primario hay instaladas válvulas de seguridad a la entrada de cada bancada de colectores solares y otra en la aspiración de la bomba. Si se produjese una sobrepresión del circuito en la zona de los captadores, las válvulas de seguridad se abrirían para dejar salir parte del fluido. Si el depósito se encontrara en el cuarto de calderas, el fluido bajaría por las tuberías hasta el depósito por gravedad, sin ayuda de elementos externos. Si, por el contrario, se encontrase en la azotea, la evacuación del fluido hacia el depósito sería más complicada.

### **5.3.3. Bombas**

La instalación se compone de siete puntos donde se precisa un grupo de bombeo. En el presente apartado, se explica cuál es la función de cada uno y cuáles son sus características técnicas principales.

Para la selección de las bombas, es preciso conocer tanto el caudal máximo de circulación, como las pérdidas de carga que se producen en cada uno de los elementos del circuito en el que se encuentra (captadores, intercambiador, válvulas, tuberías, etc).

Excepto la bomba de distribución de ACS, que impulsa el agua caliente a todas las viviendas, el resto de las bombas están montadas en las zonas más frías del circuito, permitiendo que se refrigeren mejor y, por lo tanto, que trabajen en condiciones más favorables.

Como prescribe el CTE, al ser una instalación con una superficie de captación mayor de 50 m<sup>2</sup>, se han colocado dos bombas idénticas en paralelo, que trabajarán de forma alternativa, dejando siempre una de reserva. Aunque el CTE exige únicamente que se coloquen en el circuito primario y secundario, se ha aplicado este criterio en todos los grupos de bombeo del sistema, a excepción de la bomba de llenado, para dotar de una mayor flexibilidad a la instalación. El funcionamiento alternativo estará regulado por un relé de control específico para esta función.

#### *5.3.3.1. Bomba del circuito primario (B1):*

Por un lado, el valor del caudal se puede estimar en unos 50 l/h·m<sup>2</sup>; dado que se han instalado 31 colectores solares de 2,16 m<sup>2</sup>, se obtiene un caudal total de 3348 l/h. Por otro lado, la bomba debe ser capaz de vencer las pérdidas de carga que se producen en el circuito más desfavorable que, según los datos representados en el apartado 9 del anexo I, suman un total de 7,34 mca.

Esta bomba se activará cuando la temperatura a la salida de los captadores sea mayor que la de acumulación. Sus características están detalladas en la tabla 10.

Tabla 10. Características técnicas de la bomba del circuito primario

Fabricante	Grundfos
Modelo	UPS Serie 200 (32-120)
Caudal	3348 l/h
Pérdida de carga	7,34 mca
Rango de temperaturas	-10°C/120°C
Temperatura max	140°C
Presión máx	10 bar
Conexión eléctrico	Trifásica a 380 V

#### *5.3.3.2. Bomba de llenado del circuito primario (B2):*

Se ha adoptado un sistema de llenado automático a través del depósito del fluido caloportador. La bomba se controla por presión diferencial, poniéndose en marcha cuando la presión del circuito alcanza un valor inferior al de referencia.

Para esta bomba en particular, lo importante a la hora de elegir el modelo adecuado es que pueda vencer, además de las pérdidas de carga del circuito, la altura entre el sub-sótano y la azotea, donde se encuentran los colectores solares. La altura geométrica hasta la azotea es de 29,6 metros y las pérdidas de carga son las consideradas en el apartado anterior, 7,34 mca. De acuerdo a la expresión 2, se obtiene una altura manométrica mínima de 36,94 mca.

$$H_{min} = \text{altura geométrica} + \text{pérdida de carga} \quad (2)$$

Las características de la bomba seleccionada están recogidas en la tabla 11.

Tabla 11. Características técnicas de la bomba de llenado del circuito primario

Fabricante	Grundfos
Modelo	NB/NK 32-200.1/188 (2 polos)
Altura manométrica máxima	45 mca
Conexión eléctrico	Trifásica a 380 V

#### 5.3.3.3. Bombas del circuito secundario y del circuito auxiliar (B3, B4 y B5):

La labor de estas bombas es recircular el agua contenida en los acumuladores solares, en el acumulador auxiliar y en el circuito de la caldera. Las pérdidas de carga de estos circuitos, calculadas en el apartado 9 del anexo I, son 791 mmca, 4046 mmca y 1900 mmca respectivamente. Estos valores son más altos de lo que cabría esperar, ya que el recorrido de tuberías es muy corto, y es debido a que también se han contabilizado las pérdidas que se producen en los intercambiadores.

En la bomba B3, la que recircula el agua de los acumuladores solares, se ha considerado el mismo caudal que el del circuito primario, es decir, 3348 l/h. En las bombas B4 y B5, ambas del sistema auxiliar, se ha asumido el mismo caudal, calculado mediante la potencia de la caldera y la diferencia de temperaturas a la entrada y la salida de la misma. El valor de este caudal es de 4947,42 l/h, como se refleja en el apartado 11.2 del anexo I.

Para la elección de estas bombas, se debe tener en cuenta que va a circular ACS y, por tanto, no todas las bombas son apropiadas. El modelo que se ha escogido para las tres bombas está fabricado en bronce y cubre el rango de los tres caudales con una altura suficiente para vencer las pérdidas de carga. Sus características se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Características técnicas de las bombas de los circuitos secundario y auxiliar

Fabricante	Grundfos
Modelo	UPS 32-80 B
Caudal	3348 l/h - 4947,42 l/h
Pérdida de carga	791 – 4046 – 1900 mmca
Temperatura máx	110°C
Presión máx	10 bar
Conexión eléctrico	Monofásica a 220 V

#### 5.3.3.4. Bomba de distribución de ACS (B6):

Para hallar la altura manométrica mínima de este grupo de bombeo hay que tener en cuenta los siguientes valores:

- La altura del edificio a la que hay que elevar el agua, que es de 25 metros.
- La presión mínima que debe haber en cualquier vivienda, impuesta por el Documento Básico HS4 del CTE, que es de 1 bar o 10,2 mca.

- La caída de presión en el circuito más desfavorable. Este dato está recogido en el apartado x del anexo I y es igual a 2,01 mca.

Según la expresión 3, la altura manométrica mínima requerida es de 37,21 mca.

$$H_{min} = \text{altura geométrica} + \text{pérdida de carga} + \text{presión residual en grifos} \quad (3)$$

La presión de la instalación es de 3,5 bares aproximadamente, presión estimada del agua de red en esa zona. Es decir, la bomba no tiene que vencer toda la altura manométrica calculada sino, como mínimo, la diferencia entre ésta y los 3,5 bares del circuito. También hay que considerar que la presión máxima que puede llegar a una vivienda, impuesta por el DB HS4 del CTE, es de 5 bares. Por ello, se ha elegido una bomba que proporciona una altura manométrica de unos 12 metros, de tal forma que el circuito de distribución tenga una presión dentro de los límites establecidos por la normativa.

Por otra parte, hay que conocer el caudal máximo que debe mover la bomba, siendo éste el caudal punta del edificio, cuyo valor es de 10913 l/h. Este dato se ha calculado en el apartado 7 del anexo I, a partir de la demanda de ACS que existe en cada vivienda.

Según estas necesidades, se ha escogido una bomba cuyas características se muestran en la tabla 13. La bomba se controlará por presión diferencial, cambiando de estado según las presiones de entrada y salida.

Tabla 13. Características técnicas de la bomba de distribución de ACS

Fabricante	Grundfos
Modelo	NB/NK 32-200/216 (4 polos)
Caudal	10913 l/h
Altura manométrica máxima	12 mca
Conexión eléctrico	Trifásica a 380 V

#### 5.3.3.5. Bomba de recirculación de ACS (B7):

La colocación de esta bomba permite mantener el agua de los conductos de distribución a una temperatura similar a la de consigna en calderas, con una desviación máxima de 3°C. Los valores del caudal nominal de recirculación y la pérdida de carga en el circuito se han calculado en el anexo I, en los apartados 8 y 9 respectivamente. Las características de la bomba que satisface estos criterios están recogidas en la tabla 14.

Tabla 14. Características técnicas de la bomba de recirculación de ACS

Fabricante	Grundfos
Modelo	UP 20-30 N
Caudal	1100 l/h
Pérdida de carga	1,25 mca
Temperatura máx	60°C
Presión máx	10 bar
Conexión eléctrico	Monofásica a 220 V

#### **5.3.4. Vaso de expansión**

Es importante que en la instalación haya un vaso de expansión en cada uno de los circuitos cerrados, con el fin de evitar daños en los elementos del sistema generados por el exceso de volumen de fluido que se puede producir por un incremento temperatura. Esta instalación cuenta con un vaso de expansión para el circuito primario y otro para el auxiliar. Para hallar las dimensiones de cada uno de ellos, es necesario conocer el volumen total de fluido que circula por cada circuito y las presiones máxima y mínima que se van a establecer. En la tabla 15 se representan los resultados obtenidos de los cálculos llevados a cabo en el apartado 6 del anexo I.

Tabla 15. Volumen de los vasos de expansión

	<b>Volumen del vaso</b>	<b>Vaso de expansión comercial</b>
Circuito primario	38,60 l	50 l
Circuito auxiliar	2,21 l	5 l

#### **5.3.5. Tuberías**

El material utilizado para las tuberías de toda la instalación es el cobre, ya que posee ciertas ventajas que lo diferencian de las del acero inoxidable, aluminio o cualquier tipo de termoplástico. Entre otras se pueden destacar:

- Gran resistencia mecánica frente a la combinación de presiones altas y temperaturas elevadas sin alteración de sus características técnicas ni de su comportamiento.
- Pérdidas de carga muy reducidas debido a su espesor uniforme y medidas exactas.
- Bajo coeficiente de dilatación, tanto lineal como transversal, garantizando la estabilidad de las instalaciones.
- Impermeable al oxígeno y resistente a los rayos UV, protegiendo así la instalación frente a corrosiones.
- No envejece, es decir, no se alteran ni su composición ni sus características con el paso del tiempo.
- Resistente al fuego; resiste altas temperaturas sin fundirse y no desprende gases tóxicos.
- Acción antibacteriana, evitando el desarrollo de gérmenes patógenos.
- Todos los componentes de una instalación con tubo de cobre se fabrican en medidas estándar, garantizando la compatibilidad entre ellos independientemente del fabricante.
- Es 100% reciclable conservando intactas sus propiedades.

El inconveniente de tener las tuberías de un material distinto al material del que están fabricados el resto de elementos de la instalación, es que se pueden formar puentes galvánicos. Cuando se unen dos materiales en un medio con cierta concentración salina, como por ejemplo el agua, según la posición que ocupan en la serie electroquímica de los metales, uno hace de ánodo y otro de cátodo, provocando que el primero se corroa más rápidamente y por lo tanto se desgaste antes. Cuanto mayor sea la diferencia de potencial entre los

elementos, más rápidamente se produce este efecto de corrosión. En especial, habrá que tener cuidado con los acumuladores que son de acero carbono. La solución es incluir manguitos dieléctricos que eviten el contacto entre distintos materiales y así minimizar el deterioro prematuro de los elementos.

### **5.3.6. Aislamiento**

Siguiendo las exigencias establecidas por el RITE, se debe colocar aislamientos en todas las tuberías y accesorios, así como en equipos y depósitos. El aislamiento de los equipos y depósitos viene incluido y determinado por el propio fabricante. Para el aislamiento de las tuberías, el RITE exige un espesor mínimo que debe tener dependiendo del diámetro, de la temperatura del fluido que transportan y de su ubicación. El aislamiento no dejará zonas visibles de tuberías o accesorios, quedando únicamente al exterior los elementos que sean necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes.

Para ello se han elegido dos modelos diferentes de aislamientos, diferenciando los colocados en las tuberías del circuito primario del resto de tuberías de la instalación. La razón es que las tuberías del primario, además de que pueden transportar fluido a mayor temperatura, se encuentran a la intemperie, por lo que necesitan un aislamiento más resistente que soporte condiciones de trabajo más extremas. En la tabla 16 se detallan las características técnicas de ambos aislamientos.

Tabla 16. Características técnicas del aislamiento

	<b>Tuberías generales</b>	<b>Tuberías circuito solar</b>
Fabricante	Armacell	Armacell
Modelo	AF-Armaflex	HT-Armaflex
Material	Espuma elastomérica	Espuma elastomérica
Tª max del fluido	105°C	150°C
Tª min del fluido	-50°C	-50°C
Conductividad térmica	≤0,034 W/(m·K)	≤0,039 W/(m·K)

Como ya ha sido mencionado, el espesor mínimo del aislamiento depende del diámetro de la tubería en la que se instala. Existen unos espesores de referencia para los casos en que la conductividad térmica del aislamiento es de 0,04 W/(m·K). Si la conductividad es distinta, como es el caso de la presente instalación, el espesor mínimo puede ser calculado a través de estos valores de referencia, tal y como se ha explicado en el apartado 10 del Anexo I. Los espesores escogidos para cada diámetro de tubería están indicados en la tabla 17.

Tabla 17. Espesor del aislamiento de las tuberías

<b>DN [mm]</b>	<b>AF-Armaflex</b>	<b>HT-Armaflex</b>
18	25	32
22	25	32
28	25	32
35	27	32
42	27	32
54	28	32

### **5.3.7. VALVULERÍA Y ACCESORIOS**

#### *Válvulas de seguridad:*

También llamadas válvulas de alivio; están diseñadas para liberar fluido cuando la presión supera el límite establecido y así evitar fallos en los equipos. Se han colocado en la entrada de cada bancada de colectores solares, en la aspiración de las bombas del circuito solar y de la caldera y en la entrada de los acumuladores. De acuerdo con lo establecido en el CTE, se han utilizado válvulas del tipo resorte.

#### *Válvulas de corte:*

Las válvulas de corte se han instalado para interrumpir el paso del fluido a través de las tuberías, para facilitar la limpieza, reparación o sustitución de los elementos de la instalación sin necesidad de realizar el vaciado completo de la misma o para establecer otros recorridos distintos en tareas de mantenimiento, como el control y prevención de legionelosis.

En base al criterio establecido por el CTE en el apartado 3.4.6 del Documento Básico HE4, se han elegido válvulas de esfera. Este tipo de válvula consiste en un elemento obturador formado por una bola de acero inoxidable, la cual posee un orificio del mismo diámetro que la tubería en la que se coloca, por lo que, cuando están abiertas, la pérdida de carga es mínima. Se han instalado válvulas de corte:

- a la entrada y salida de las baterías de captadores
- en las entradas y salidas de los intercambiadores y de los acumuladores
- en la aspiración e impulsión de las bombas
- en los extremos del manómetro de las bombas
- entre otras válvulas y accesorios de la instalación para su desconexión

#### *Caudalímetro:*

Para contabilizar la producción energética del sistema solar térmico y así comprobar si la aportación anual cumple con el mínimo establecido por el CTE, se ha utilizado un caudalímetro en el circuito primario y dos sondas que van colocadas a la salida y entrada del intercambiador de placas. Estos elementos van conectados a la centralita de control donde se guardarán los datos y se realizará el cálculo de la producción energética, mostrando en pantalla dicho valor.

Además de este caudalímetro, se han colocado otros más simples en la entrada de cada vivienda para tener registrado el consumo individual de cada piso.



*Válvulas antirretorno o de retención:*

Se han instalado válvulas de retención con el fin de permitir el paso del fluido en una única dirección, quedándose bloqueada en caso de un cambio de sentido del fluido. Los lugares donde se han colocado estas válvulas son los siguientes:

- En la tubería de impulsión de todas las bombas. Como se han colocado bombas idénticas en paralelo que trabajan alternativamente, se necesita añadir válvulas de retención para evitar que el circuito de la bomba en marcha se cierre a través de la bomba de reserva. En la bomba de llenado, su función es que el fluido del circuito primario no retorne al depósito.
- Al inicio de cada montante, tanto en distribución como en retorno, para impedir que el agua una vez suministrada pueda volver hacia otros puntos de consumo.
- En la entrada de cada vivienda después de los contadores, ya que en ocasiones en las griferías monomando se ponen en comunicación las instalaciones de agua caliente y fría, provocando circulaciones de agua fría por las redes de agua caliente.
- En la entrada del agua de red al circuito auxiliar, para evitar que el agua que ya hay dentro retorne por la tubería de agua fría de red.

*Mezclador termostático:*

Este elemento se ha instalado para mezclar el agua fría de red con el agua caliente sanitaria que sale del acumulador auxiliar, para conseguir la temperatura de uso de referencia (45-50°C).

*Termómetros y sondas de temperatura:*

Los termómetros se han colocado en las entradas y salidas de los intercambiadores de calor, en los acumuladores y al comienzo de cada montante, después de la válvula antirretorno, para la visualización de la temperatura en cada punto importante de la instalación.

Las sondas de temperatura van a transmitir una señal eléctrica, que variará en función de la temperatura captada, a la centralita de control que regulará el estado de las bombas, la caldera y las válvulas motorizadas. Se han colocado a la salida de los colectores solares, en los acumuladores, en el punto más alejado de la instalación de distribución de ACS y tras la bomba de retorno de ACS.

*Manómetro:*

Se han colocado manómetros entre la salida y la entrada de todos los grupos de bombeo de la instalación y en los acumuladores. La caldera ya lleva su propio manómetro para controlar la presión del circuito auxiliar.

*Purgador/Desaireador:*

Se debe colocar en los puntos más altos de la instalación, como a la salida de cada bancada de captadores, o en cualquier punto donde pueda quedar aire acumulado, con el fin de evacuar los gases y evitar la formación de bolsas que impidan la correcta circulación del fluido y provoquen problemas de corrosión o reducción del rendimiento de la instalación.

En el circuito auxiliar no se ha añadido este elemento ya que lo lleva incorporado la caldera. El desaireador escogido para colocar a la salida de los colectores solares consiste en un separador de aire automático específico que permite trabajar en condiciones de altas temperaturas y con fluidos distintos al agua, como el utilizado (agua + propilenglicol).

*Válvulas de equilibrio:*

Las válvulas de equilibrado se han ubicado a la entrada de cada bancada de colectores solares para originar las pérdidas de carga adecuadas y garantizar así una correcta distribución del fluido caloportador por toda la instalación.

*Válvula de tres vías motorizada:*

Está situada aguas arriba de la bomba de retorno de ACS, pasada la sonda de temperatura. Su función es regular la circulación del agua de retorno por las dos alternativas posibles. Si la temperatura del agua es menor que la temperatura del agua de los acumuladores solares, se abrirá en esa dirección. En caso contrario, cuando sea mayor, se llevará hacia el acumulador auxiliar. Este control se lleva a cabo por la centralita, a la cual le llega la información necesaria de las sondas de temperatura.

*Compensador de dilatación:*

Se utiliza para absorber las posibles dilataciones de las tuberías del circuito primario cuando se eleva la temperatura del fluido, evitando así problemas en la instalación.

#### **5.4. SISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL**

El sistema de control debe garantizar el correcto funcionamiento de las instalaciones en todos los regímenes de trabajo, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. Este sistema basa su funcionamiento en un control de entradas y salidas que comanda todos los equipos de la instalación y en las consignas de temperatura y presión establecidas.

El sistema cuenta con una centralita de control que se encargará de gestionar la instalación dependiendo de las necesidades de cada momento, parando y accionando equipos de forma que se satisfaga la demanda de ACS. Además, se programará para que actúe en casos

peligrosos para la instalación, como sobre-temperaturas, congelación, caídas de presión... evitando así posibles desperfectos en la instalación y riesgos para la seguridad.

El sistema dispone de almacenamiento de datos en tarjeta SD donde se guardan los datos más representativos para su posterior consulta y realización de estadísticas del funcionamiento de la instalación. Adicionalmente, se puede incluir un adaptador de interfaz LAN que permita conectar la centralita de control a un router, de forma que se pueda acceder a los datos a través de una red local.

En esta instalación se necesitan seis salidas de control:

- La válvula de tres vías motorizada, donde llega el agua de retorno, debe controlarse de tal forma que se abra hacia los acumuladores solares si su temperatura es mayor que la del agua de retorno y, en caso contrario, abrirse en dirección al acumulador auxiliar.
- El funcionamiento de las bombas del circuito primario (B2 y B3) se controla por diferencia de temperaturas entre la temperatura del fluido a la salida de los colectores solares, que es el punto de máxima temperatura, y la temperatura de los acumuladores solares. Está regulado de tal forma que la bomba no esté en marcha si la diferencia es menor de 2°C y que no esté parada si es mayor de 7°C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y parada de termostato diferencial no será menor que 2 °C.
- Las bombas del circuito auxiliar (B4 y B5) se controlan según la temperatura que se alcanza en el acumulador auxiliar, poniéndose en marcha cuando no se alcance una temperatura de consigna de 60°C.
- Por último, la bomba de recirculación (B7) se controla mediante la diferencia de temperaturas entre el punto más alejado de distribución, en este caso es la 5ª planta del portal 3, y la salida de la válvula mezcladora de tres vías motorizada, que fija una temperatura de 45°C. Esta diferencia de temperaturas no será nunca mayor de 3°C.

## **5.5. SISTEMA ELÉCTRICO**

Desde el cuadro de distribución de los servicios generales saldrá, junto con el conductor de protección, una línea individual destinada al suministro eléctrico del cuarto de calderas. En el vestíbulo de independización de dicho cuarto se colocará un cuadro eléctrico en el cual se instalarán los elementos de protección eléctrica y sistema de control. La tensión de trabajo va a ser 380 V trifásica y 220 V monofásica.

Los conductores, como todas las derivaciones de distribución correspondientes, serán de tensión nominal de aislamiento de hasta 750 V y tendrán una intensidad máxima admisible fijada en la tabla 1 de la ICT-BT-19 y una caída de tensión máxima según prescribe la misma. Se instalará de acuerdo a la ITC-BT-20 y se usarán tubos o canales protectores, tal y como señala la ITC-BT-21.

El cuadro general de mando y protección constará de un interruptor diferencial de 3 polos y otros dos de fase y neutro, todos de 40 A, 30 mA, para protección contra contactos directos. También se instalarán PIAS monofásicos y trifásicos, según correspondan, para proteger contra sobrecargas los cables de suministro. Todos ellos serán normalizados y se instalarán según lo establecido por la ITC-BT-22 y la ITC-BT-24.

El cálculo de la sección de los cables, detallado en el apartado 12 del anexo I, se ha realizado bajo dos criterios: máxima caída de tensión y máxima intensidad admisible. De entre ambos valores, se ha escogido la opción más desfavorable. Se ha tenido en cuenta que, cuando se trata de un suministro a motores eléctricos, la intensidad máxima obtenida se debe aumentar un 125% según prescribe la ITC-BT-47.

En el plano 7 del anexo II, se muestra un esquema básico del cuadro eléctrico ubicado en el cuarto de calderas.

## **6. PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN**

Para la realización del presupuesto se ha utilizado la aplicación informática PRESTO donde se detalla el precio descompuesto de cada elemento, es decir, no sólo el valor de cada uno de ellos o precio simple, sino todos los elementos auxiliares necesarios para su instalación, el coste proporcional de mano de obra y los costes indirectos de cada uno de ellos. El Anexo III recoge todos los capítulos y partidas que componen el presupuesto.

Éste se ha dividido en cuatro capítulos: sistema solar térmico, sistema auxiliar, sistema de distribución de ACS y sistema eléctrico.

El sistema solar térmico incluye tanto el circuito primario como el circuito secundario, puesto que ambos son relativos a la implantación de la instalación solar térmica. El sistema auxiliar corresponde al circuito auxiliar, depósito auxiliar, hasta la válvula mezcladora termostática. Desde esta última, se considera el sistema de distribución de ACS, donde se ha incluido también el circuito de retorno de ACS. El sistema eléctrico no es más que el cuadro eléctrico donde van integrados los elementos de protección y las conexiones eléctricas.

Un sistema convencional de ACS difiere de esta instalación únicamente en la parte denominada sistema solar térmico. Por ello, y dado que la diferenciación de sistemas permite evaluarlos por separado, se ha realizado el estudio de viabilidad en base a la inversión que supone la partida asociada al sistema solar térmico.

## **7. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA**

El sistema solar térmico, tal y como se ha detallado en el Anexo III, supone una inversión adicional importante con respecto a una instalación convencional de producción de ACS, por lo que resulta de gran interés llevar a cabo un estudio de viabilidad que muestre el ahorro económico que supondría la realización de este proyecto.

La evaluación se ha realizado para un escenario basado en los siguientes datos e hipótesis:

- La inversión total del sistema solar térmico es de 49456,44 €
- El 30% del coste se financia con fondos propios, a desembolsar en el primer año, y el 70% restante mediante un préstamo a 10 años al 6% de tipo de interés fijo.
- La vida útil de la instalación se estima en 20 años.
- El ahorro energético que se logra con la instalación, calculado en el anexo IV, es de 58841,85 kWh/año, siendo el combustible sustituido gas natural, con un precio medio de 0,05758 €/kWh (incl IVA).
- Según el IDAE, se estima que los costes anuales de mantenimiento suponen entre un 5% y un 10% del ahorro económico anual generado por la instalación solar. En este estudio, este valor se ha cifrado en un 5%.
- Se considera un incremento anual del precio del combustible en la misma proporción que el incremento anual del IPC, estimado en un valor medio del 3%.

Se ha tenido en cuenta la posibilidad de recibir subvenciones gubernamentales. En este caso, la Comunidad Autónoma de Aragón ofrece, según la Orden de 14 de Diciembre de 2011, una subvención para instalaciones solares térmicas de baja temperatura, con captadores solares cuyo coeficiente global de pérdidas sea inferior a  $9\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . El coeficiente de los colectores elegidos es de  $3,67\text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , por lo que cumplen con este requisito.

Según la citada Orden, los costes deberán limitarse a los costes de inversión adicionales en comparación con los de una instalación convencional equivalente en términos de cantidad de energía efectiva generada, ya que ésta deberá instalarse igualmente. Estos costes no incluirán impuestos, tasas ni contribuciones especiales.

Se tomará como coste de referencia, en relación a los objetivos energéticos, una inversión máxima por unidad de potencia de captación instalada de 1.015 €/kW ó 710,5 €/m<sup>2</sup>, correspondiendo una ayuda máxima del 37 %. La subvención se percibirá durante el primer año de explotación de la instalación. Como la superficie instalada de captadores solares es de 66,96 m<sup>2</sup>, la parte de presupuesto susceptible de ser subvencionada asciende a 47575,08 €.

Dado que en este caso el coste de la instalación por metro cuadrado de captación (738,15 €/m<sup>2</sup>) es mayor que el máximo, el resto de la inversión no accederá a ningún tipo de subvención.

Con estos datos de partida, la inversión es rentable, ya que se ha obtenido un valor positivo del Valor Actual Neto (VAN) y un valor de la Tasa Interna de Retorno (TIR) igual o superior al 3%, que es el tipo de interés que se ha considerado que se obtendría en el supuesto de depositar el dinero dedicado a la inversión inicial en una cuenta bancaria estándar. Esto hace que la inversión sea interesante desde el punto de vista económico.

### **7.1. ANALISIS DE SENSIBILIDAD**

Una vez obtenido el caso base, se han analizado distintas hipótesis, modificando algunas variables de interés para observar su influencia en la rentabilidad del proyecto. Este estudio está desarrollado en el Anexo IV.

En primer lugar se ha variado el porcentaje de financiación propia de la inversión, apreciando una mayor rentabilidad del proyecto al aumentar dicho porcentaje.

En segundo lugar se ha considerado el caso en que la instalación obtenga alguna subvención, confirmando que la rentabilidad aumenta con las subvenciones obtenidas.

## **8. CONCLUSIONES**

Este proyecto consiste en el diseño de una instalación para el suministro de agua caliente sanitaria en un edificio de 50 viviendas, donde se estima que viven 200 personas, y que está ubicado en el barrio de Arcosur de la ciudad de Zaragoza. Para su realización, se han considerado los requisitos marcados por el Código Técnico de la Edificación.

La principal valoración obtenida tras la elaboración del estudio concluye que el sistema de captación solar es capaz de suministrar por sí solo el 60,48% de las necesidades térmicas del edificio en el consumo de agua caliente sanitaria, que deriva en una considerable reducción del uso de la caldera convencional. Esta cifra cumple la normativa de la provincia de Zaragoza que, para la zona climática IV, exige una contribución mínima del 60 %, ayudando a reducir de esta forma la dependencia energética proveniente de los combustibles fósiles.

Se incluye en el presente proyecto un estudio de viabilidad, que analiza la rentabilidad económica del mismo, aunque no resulta imprescindible para llevar a cabo la instalación de este sistema, ya que la motivación principal de su instalación viene marcada por la interpelación legal que lo exige según el CTE. Se podría decir que este estudio de viabilidad tiene un mero carácter informativo.

Al estudiar el escenario base, se han obtenido unos valores de VAN de 425,17 € y TIR de 3%, haciendo que la instalación sea rentable sin necesidad de acudir a ningún tipo de subvención. Por ello, se concluye que la instalación que se ha diseñado, no sólo es viable económicamente sino que además aporta beneficios netos derivados del ahorro de energía primaria.

Sin embargo, sí que es cierto que para aumentar la variable de rentabilidad en una instalación de este tipo, se hace imprescindible la presencia de subvenciones que permitan mitigar la aportación de fondos propios o financiados que es preciso efectuar. Esta última premisa es la que realmente puede consolidar la industria solar térmica en el escenario actual.

La proliferación de las instalaciones solares térmicas va directamente vinculada al coste de las mismas, por lo que el desarrollo de su industria va en beneficio de todas las partes implicadas. Las instituciones podrán reducir las subvenciones que deben dedicar para nuevas

instalaciones, los usuarios podrán gozar de reducción en sus facturas de gas y, en término general, la mejora medioambiental que supondrá el uso de energías renovables.

A través de la elaboración del presente estudio se ha podido comprobar que la instalación de sistemas de suministro de ACS basados en energía solar térmica es una opción muy recomendable, por la deriva medioambiental y de responsabilidad social, pero sobre todo, por el ahorro económico que representa para los habitantes de las viviendas que cuentan con este tipo de instalaciones.

Gracias a este proyecto he podido ampliar mis conocimientos en el campo de la energía solar, y más concretamente en la industria solar térmica. Éste es un tipo de energía cuya utilización tiene un gran margen de crecimiento, por lo que veo en él un perfecto enclave para mi futuro profesional.

Para finalizar, como futuro trabajo vería interesante profundizar en un estudio de impacto ambiental que permitiera medir las ventajas medioambientales, la reducción de gases de efecto invernadero entre otras, de un sistema para suministro de ACS basado en la energía solar térmica con respecto a uno convencional.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UNE-ENV 1991-2-3. EUROCÓDIGO 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2-3: Acciones en estructuras. Cargas de nieve.
- [2] UNE-EMV 1991-2-4. EUROCÓDIGO 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2-3: Acciones en estructuras. Acciones del viento.
- [3] Plan general de ordenación urbana de Zaragoza del 2007, artículo 2.2.22 apartado 2.
- [4] Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). ([www.aemet.es](http://www.aemet.es)). *Fecha último acceso: 15 de Febrero de 2012.*
- [5] Pereda Suquet, P. Guía de Asistencia Técnica 17. Proyecto y Cálculo de Instalaciones Solares Térmicas. Fundación Cultural COAM-EA. Ediciones de Arquitectura. 2006.
- [7] Guía Técnica de agua caliente sanitaria central. Guía elaborada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). 2010.
- [8] Monné Bailo, C., Díez Pinilla, L. Prácticas de Energías Renovables. Pressas Universitarias de Zaragoza. 2003.
- [9] Guía ASIT de la energía solar térmica. Asociación Solar de la Industria Térmica. Octubre de 2008.
- [10] Tarifas y precios del gas natural.  
([www.iberdrola.es/webibd/corporativa/iberdrola?IDPAG=ESWEBCLIHOGASEINFLEGGAS](http://www.iberdrola.es/webibd/corporativa/iberdrola?IDPAG=ESWEBCLIHOGASEINFLEGGAS)).  
*Fecha de último acceso: 15 de febrero de 2012.*
- [11] ORDEN de 14 de diciembre de 2011, del Departamento de Economía y Empleo, por la que se aprueban las bases reguladoras y se convocan para el ejercicio 2011, subvenciones para el uso eficiente de la energía y aprovechamiento de energías renovables. ([www.empower-eu.es/docs/file/Noticias%20energeticas/BRSCGI.PDF](http://www.empower-eu.es/docs/file/Noticias%20energeticas/BRSCGI.PDF)). *Fecha de último acceso: 15 de febrero de 2012.*
- [12] Características del cobre. ([www.elcobre.com](http://www.elcobre.com)). *Fecha de último acceso: 15 de febrero de 2012.*
- [13] Ventajas caderas de condensación. ([hp://www.caloryfrio.com/calderas/calderas-de-condensacion.html](http://www.caloryfrio.com/calderas/calderas-de-condensacion.html)). *Fecha de último acceso: 15 de febrero de 2012.*
- [14] Cálculo de los coeficientes de expansión. ([www.aularenova.es](http://www.aularenova.es)). *Fecha de último acceso: 15 de Febrero de 2012.*
- [15] Catálogo de elementos de instalaciones solares. ([www.salvadorescoda.com](http://www.salvadorescoda.com)). *Fecha de último acceso: 15 de febrero de 2012.*



- [16] Catálogo de elementos de instalaciones solares. ([www.baxi.es/producto.htm](http://www.baxi.es/producto.htm)). *Fecha de último acceso: 15 de febrero de 2012.*
- [17] Catálogo de captadores solares. ([www.sonnenkraft.es/Products/Pages/default.aspx](http://www.sonnenkraft.es/Products/Pages/default.aspx)). *Fecha de último acceso: 15 de febrero de 2012.*
- [18] Catálogo de bombas. ([www.grundfos.es](http://www.grundfos.es)). *Fecha de último acceso: 15 de febrero de 2012.*
- [19] Catálogo de calderas. ([www.tradesa.com](http://www.tradesa.com)). *Fecha de último acceso: 15 de febrero de 2012.*
- [20] Catálogo de fluido caloportador ([www.biodetex.com](http://www.biodetex.com)). *Fecha de último acceso: 15 de Febrero de 2012.*
- [21] Catálogo de aislamientos. ([www.armacell.com](http://www.armacell.com)). *Fecha de último acceso: 15 de Febrero de 2012.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director de Proyecto de Fin de Carrera, Ignacio Zabalda Bribián, que me ha apoyado y guiado en el desarrollo del mismo, y que con su propuesta ha conseguido despertar en mí un gran interés por el campo de las energías renovables y, en especial, de la energía solar térmica.

A mis padres, hermanas y familia en general, que siempre han estado a mi lado apoyándome y nunca han dejado de confiar en mí.

A Lidia, por su constante estímulo y por transmitirme tanto cariño, apoyo e ilusión en los momentos en que lo he necesitado.